

**UNIVERSIDADE DO PLANALTO CATARINENSE - UNIPLAC  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ – UFPR**

**AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE SECAGEM ARTIFICIAL DA  
MADEIRA DE PINUS spp EM UMA INDÚSTRIA DE BASE  
FLORESTAL**

**ROGÉRIO FRANZOI**

**LAGES  
2003**

**ROGÉRIO FRANZOI**

**AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE SECAGEM ARTIFICIAL DA  
MADEIRA DE *PINUS spp* EM UMA INDÚSTRIA DE BASE  
FLORESTAL**

**Monografia apresentada ao Programa  
de Pós-Graduação (Convênio  
UFPR/UNIPLAC) como requisito  
parcial à conclusão do Curso Tecnologia  
de Utilização de Produtos Florestais.  
Orientadora: Martha Andréa Brandt**

**LAGES  
2003**

**AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE SECAGEM ARTIFICIAL DA MADEIRA DE  
*PINUS spp* EM UMA INDÚSTRIA DE BASE FLORESTAL**

Esta Monografia foi julgada adequada para aprovação do Programa do Curso de Pós-graduação, em Tecnologia de Utilização de Produtos Florestais, Convênio UNIPLAC/UFPR, aprovado em sua forma final em \_\_\_\_ / \_\_\_\_ /2003.

Conceito: \_\_\_\_\_

Prof. MSc. Flávio José Simioni

Coordenador de Pós Graduação

Examinadores:

---

---

---

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01	Formação da parede celular da madeira.....	14
FIGURA 02	Comportamento da madeira devido à anisotropia.....	21
FIGURA 03	Representação esquemática da variação da capacidade do ar em absorver vapor d'água na sua estrutura em mesmo ambiente, variando somente a temperatura.....	25
FIGURA 04	Forma de gradeamento correto e incorreto da madeira.....	32
FIGURA 05	Gabarito para gradeio da madeira.....	33
FIGURA 06	Secador convencional de madeiras.....	35
FIGURA 07	Programa de secagem adotado na empresa.....	60
FIGURA 08	Programa de secagem alterado.....	62

## LISTA DE TABELAS

TABELA 01	Relação entre massa específica e tempo de secagem.....	19
TABELA 02	Avaliação da qualidade da madeira segundo o coeficiente de anisotropia.....	22
TABELA 03	Características dos tabiques.....	31
TABELA 04	Conversão das dimensões polegadas X milímetros.....	55
TABELA 05	Comparação percentual da ocorrência de defeitos em função da alteração do Programa de Secagem.....	64
TABELA 06	Comparação em metros lineares da ocorrência de defeitos em função da alteração do Programa de Secagem.....	64

## Sumário

<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>06</b>
<b>1. OBJETIVOS.....</b>	<b>08</b>
1.1 Objetivo Geral.....	08
1.2 Objetivos Específicos.....	08
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>09</b>
<b>2.1 A Madeira.....</b>	<b>09</b>
<b>2.2 Importância da Secagem da Madeira.....</b>	<b>10</b>
<b>2.3 Desorção ou Secagem.....</b>	<b>11</b>
<b>2.4 Fatores que influem na Secagem da Madeira.....</b>	<b>12</b>
2.4.1 Fatores Inerentes à madeira.....	13
2.4.2 Fatores inerentes ao ambiente.....	21
<b>2.5 Preparação da Madeira para a secagem.....</b>	<b>27</b>
2.5.1 Preparação da Carga.....	27
<b>2.6 Secagem em Estufa.....</b>	<b>33</b>
2.6.1 Secagem Convencional (de 50 até 100°C).....	33
<b>2.7 Programas de Secagem.....</b>	<b>39</b>
2.7.1 Programas de Secagem para Estufas Convencionais.....	39
<b>2.8 Defeitos de Secagem.....</b>	<b>42</b>
2.8.1 Tipos de Defeitos.....	42
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>50</b>
3.1 Descrição da Indústria.....	50

3.2	Setor Alvo.....	51
3.3	Recursos utilizados.....	51
3.4	Metodologia.....	51
<b>4.</b>	<b>RESULTADO E DISCUSSÕES.....</b>	<b>53</b>
4.1	Avaliação do Processo de Secagem da Madeira.....	53
4.1.1	Gradeação.....	53
4.1.2	Características da Estufa Utilizada no estudo.....	55
4.1.3	Classificação da Madeira.....	56
4.1.4	Setor de <i>Clear Block's</i> .....	56
4.1.5	Programa de secagem.....	57
4.1.6	Avaliação Geral.....	62
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>65</b>
<b>6.</b>	<b>GLOSSÁRIO.....</b>	<b>68</b>
<b>7.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>70</b>

## **Resumo**

Procedeu-se uma avaliação geral do processo de secagem na empresa, verificando-se o programa de secagem utilizado, bem como, todas as técnicas empregadas no processo, desde a serragem das tábuas, gradeamento, preparação da carga para entrada no secador, processo de secagem, retirada da carga do secador, retirada de amostras em número de cem peças, aplainamento das peças, visualização dos defeitos do tipo trinca e, elaboração de tabelas.

Após este procedimento, efetuou-se mudança no programa de secagem da empresa, aumentando-se os tempos nas fases iniciais, no sentido de diminuir o potencial de secagem, com vistas a minimizar o aparecimento das trincas.

Em seguida utilizou-se o mesmo procedimento inicial, separando-se outras cem peças de madeira, aplainando-as, e visualizando os defeitos, anotação dos dados e tabulação dos mesmos.

O aparecimento de trincas foi menor, inclusive em metros lineares, fato este que foi descrito nas conclusões.

Assim, com todos os dados coletados e tabulados, elaborou-se o presente trabalho, enfatizando a necessidade de acompanhamento constante do processo, para propor melhorias no geral.

## INTRODUÇÃO

A transformação racional da madeira em subprodutos requer uma secagem prévia. Isto irá garantir à mesma algumas melhorias como redução do peso para transporte e conseqüente diminuição de custos, redução da susceptibilidade ao ataque de agentes xilófagos, melhora a qualidade nas juntas de cola, maior facilidade na trabalhabilidade da madeira, maior facilidade para lixar, aplainar, pintar, usinar. Além disso, a secagem confere à mesma maior estabilidade dimensional, sendo imprescindível nos processos que envolvem alto índice de industrialização, como o caso da linha de *clear block's*. Produto este que posteriormente é industrializado, requerendo uma umidade padrão.

Entretanto, nas indústrias madeireiras, a secagem nem sempre recebe a importância devida, já que o empresariado do setor geralmente não tem o conhecimento necessário para avaliar, até o final da cadeia produtiva, os benefícios ou malefícios de uma secagem adequada ou mal conduzida, respectivamente.

Sendo a secagem uma etapa obrigatória do processo de industrialização da madeira, é importante conhecer seus princípios básicos, as tecnologias disponíveis e como utiliza-las.

O presente trabalho objetiva propor adequações aos processos de secagem da madeira, com o intuito único de reduzir o índice de trincas superficiais e internas, fator desclassificante da madeira para produção de *clear block's*.

Baseado na teoria e prática apresentar-se-á algumas sugestões para melhoria do programa de secagem utilizado na empresa além de uma análise do processo atual e indicação de possíveis pontos falhos.

## **1.OBJETIVOS**

### **1.1. Objetivo geral**

- Reduzir a incidência de trincas superficiais e internas que ocorrem durante o processo de secagem convencional da madeira de *Pinus spp*, para uso em *clear block's*.

### **1.2. Objetivos específicos**

- Levantar o percentual de trincas decorrentes da secagem da madeira;
- Verificar e avaliar o programa de secagem utilizado;
- Elaborar e aplicar um programa de secagem específico para o caso;
- Avaliar os resultados obtidos

## 2.REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. A Madeira

Segundo BURGER & RICHTER(1991) a madeira é um material orgânico, heterogêneo, poroso, higroscópico e anisotrópico. É orgânico porque sua composição química elementar é formada basicamente por carbono(C), heterogêneo devido sua grande variação existente tanto em tipos como em componentes básicos e na distribuição destes componentes.

A disposição e o arranjo diferenciado destes elementos deixam espaços vazios, tornando, portanto, a madeira porosa, com poros visíveis em nível macroscópico. Na sua estrutura íntima (ultra-estrutura) a madeira pode reter água, fisicamente aderidas às paredes e no interior delas, sendo, portanto, um material higroscópico. A madeira é ainda um material anisotrópico, ou seja, se comporta diferentemente nos diferentes eixos de orientação. A anisotropia é extremamente importante tanto no processamento como no uso. Deste modo, a madeira seca mais facilmente na direção do crescimento, pois a

permeabilidade longitudinal é muito mais alta que a transversal (radial e tangencial), e contrai mais transversalmente do que no comprimento.

## **2.2. Importância da Secagem da Madeira**

De acordo com TOMASELLI & KLINTZE(2002) a madeira serrada em geral contém consideráveis quantidades de umidade (água). A saída irregular da umidade causará defeitos (rachaduras, empenamentos, etc.) e se for mantida acima de certos valores a madeira estará sujeita a ataques de fungos manchadores e aprofundadores. Por esta e outras razões é proposta a secagem da madeira.

O processo de secagem da madeira deverá ser conduzido de forma gradual, uniforme e a um teor de umidade que será definido em função do seu uso final.

Na prática, dois tipos de secagem são utilizados:

1. Secagem ao ar e,
2. Secagem forçada por evaporação, com vapor superaquecido, com alta frequência, com substâncias químicas, com raios infra-vermelhos entre outros.

Apenas a secagem forçada por evaporação será abordada, por ser a empregada na indústria objeto deste trabalho. A secagem forçada, embora requeira um maior investimento inicial de instalação, sobrepuja a secagem ao ar livre pelas seguintes razões:

- Maior rapidez (poucos dias ou até horas) o que significa breve retorno de capital e maior flexibilidade industrial;

- Requer menor espaço e curto prazo de armazenamento na indústria;
- Menores prejuízos e defeitos;
- Permite controle seguro da umidade final desejada;
- Distribuição mais uniforme dentro da peça;
- Mais economia.

### **2.3. Desorção ou Secagem**

No processo de secagem, a primeira água a ser retirada é a água livre. Só depois de evaporada toda esta água capilar ( $PSF = 28 \% U$ ), inicia-se a perda da umidade das paredes celulares. Como a peça de madeira apresenta certa espessura, sempre há uma distribuição desigual da umidade no seu interior, pois em primeiro lugar, evapora-se a água livre das camadas superficiais, e só quando estas alcançam o PSF, inicia-se a evaporação da água livre da parte interna, através da camada exterior já seca, até a secagem completa da madeira de acordo com TOMASELLI & KLINTZE(2002).

Segundo GALVÃO & JANKOWSKY(1984), acima do PSF o movimento da água livre segue geralmente as leis capilares: Quanto menor o diâmetro do capilar, maior a tração da coluna de água (alta tensão superficial).

A quantidade de água que atravessa os capilares é uma função do raio ( $d/2$ ) do capilar, na 4ª potência.

Abaixo do PSF, a secagem é geralmente considerada um processo de difusão. A água das camadas interiores difunde-se em forma de vapor através dos espaços já liberados

da água livre e preenchidos com ar das camadas exteriores, de onde, uma vez condensado, atinge a superfície por capilaridade (água livre).

O fenômeno de difusão deve-se à existência de um gradiente de tensão parcial de vapor entre diferentes concentrações, e depende, principalmente, do gradiente de umidade entre as camadas exteriores e interiores e da temperatura ambiente.

Conseqüentemente, a secagem da madeira pode ser considerada um processo físico constituído inseparavelmente de:

Movimento capilar e

Difusão de vapor d'água.

A quantidade de água evaporada por unidade de tempo e unidade de área é aproximadamente proporcional ao decréscimo (gradiente) do teor de umidade.

## ***2.4. Fatores que influem na Secagem da Madeira***

Para TOMASELLI & KLINTZE(2002) numa indústria madeireira, onde parte de seu processo produtivo é representado pela secagem da madeira, é de suma importância o conhecimento do tempo necessário para secar uma peça de madeira até um determinado teor de umidade exigido, sendo que este tempo é influenciado por vários fatores.

### 2.4.1. Fatores inerentes à madeira

#### Aspectos Anatômicos

A madeira apresenta basicamente três tipos de células: Traqueais e parenquimáticas com uma variação de forma e função. A parede celular apresenta uma formação complexa como pode-se observar na FIGURA 01.

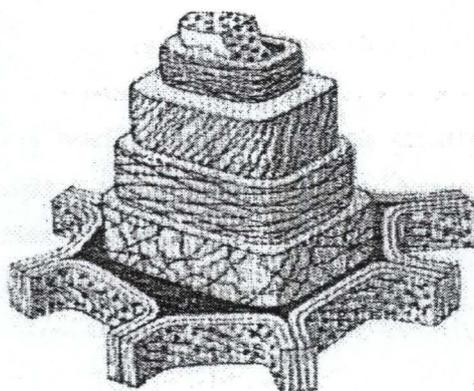


FIGURA 01 – Formação da parede celular da madeira

Fonte: TOMASELLI & KLINTZE(2002)

#### Células Traqueais

O sistema traqueal é responsável, na árvore viva, pela condução da água e está representada pelos traqueóides e pelos vasos.

Os traqueóides podem considerar-se uma forma primitiva de célula lenhosa, e formam um volume de até 95% nas coníferas. São sempre células fechadas. Tubulares ou

libriformes, seus extremos são mais ou menos pontiagudos e as vezes em forma de bisel. Nas folhosas chegam a 1,5mm, já nas coníferas podem ter vários milímetros.

Os traqueóides das madeiras de primavera são de parede fina, sendo mais fácil à comunicação célula/célula no intercâmbio de líquidos. Podem possuir em suas paredes até 300 grandes pontoações areoladas. Os traqueóides de outono, cuja função principal é dar solidez à árvore, são de parede grossa, apresentando poucas pontoações (10 – 50) em posição oblíqua e em forma de pequenas fissuras.

Observando os traqueóides, se destacam em suas paredes umas zonas circulares ou elípticas de paredes delgadas, que são as pontoações, geralmente estas são areoladas, formando uma fina membrana, com uma bóveda perfurada no centro. O engrossamento da membrana no centro forma o torus, este ao aplicar-se sobre a abertura da pontoação se fecha hermeticamente como se fosse uma válvula.

Se os traqueóides estão situados ao lado dos raios ou das células parenquimáticas lenhosas, o intercâmbio de substâncias entre estes elementos se facilita por meios de grandes pontoações simples ou por semi-areoladas, que facilitam o intercâmbio entre os elementos.

### **Células Parenquimáticas**

Estas células tem a função de acumulação de reservas, com grande abundância de pontoações simples. São geralmente alongadas de paredes finas, se formam por divisões sucessivas do câmbio. Nas coníferas só tem lugar geralmente no final do período vegetativo. Suas substâncias de reserva são: amido, graxa, resina, polissacarídeos, ácidos taninos, etc.

## **Estrutura das Coníferas**

As coníferas têm a estrutura mais regular e mais simples. Na seção transversal seus traqueóides, tetra, penta ou hexagonais apresentam-se em filas radiais desde o câmbio até a medula. Entre eles estão situadas as bandas dos raios lenhosos compostos principalmente por células parenquimáticas que, vistas em seção longitudinal parecem como retângulos largos e estreitos.

Os raios têm também traqueóides, e alguns em seu interior, espaços ocos ou canais intercelulares que em coníferas contém resina.

Em seção transversal se distinguem bem os limites de crescimento dos anéis anuais como lenhos, bem marcados, de separação entre os últimos traqueóides da madeira de outono de um ano e as primeiras células da madeira de primavera do seguinte. Os traqueóides de outono têm paredes grossas, enquanto que os traqueóides de primavera são de paredes finas e estão dispostas mais de formas simétricas.

A transição de um para o outro tipo de célula é bastante brusca, as pontoações são também diferentes nestas duas classes de madeira. Na de primavera as pontoações se observam somente nas paredes radiais dos traqueóides, as de outono em todas as paredes. Esta disposição pode comprovar-se muito bem na seção radial, na qual os traqueóides aparecem como tubos cortados longitudinalmente e sobre suas paredes vêem as pontoações em projeção.

Correndo no sentido transversal aos traqueóides, mas não apresentam seus extremos afilados. Na seção tangencial o aspecto é muito diferente, pois os traqueóides têm

seus extremos afilados, mostra que as pontoações são cortadas longitudinalmente e aparecem exatamente igual a seção transversal.

Os raios, como bandas parenquimatosas cuja forma e altura se observa na seção radial. Os raios lenhosos mostram sua seção transversal fusiforme (com canais resiníferos) com células terminais extraordinariamente afiladas e freqüentes canais resiníferos que correm radialmente na parte central do raio.

Devido à sua estrutura anisotrópica, a madeira apresenta grandes variações na rapidez de difusão da umidade durante a secagem, segundo os diferentes eixos anatômicos.

Acima do limite de movimento capilar ( $u > 15\%$ ) considerado isoladamente, a perda de água é aproximadamente igual nos sentidos paralelo e perpendicular às fibras. Apenas quando entra em cena o fator da resistência à evaporação (movimento de difusão) surge uma desigualdade de velocidade de secagem nos diferentes sentidos anatômicos. Por exemplo:

A perda de água paralela as fibra será 5 a 8 vezes mais rápida do que perpendicularmente às mesmas, em condições de secagem de 50 °C de temperatura,  $D = 0,4 - 0,6 \text{ g/cm}^3$  e um gradiente de tensão parcial de vapor normal. Esta relação aumentará com o acréscimo de temperatura e decréscimo do teor de umidade até 16 vezes.

Devido à diferente estrutura tangencial e radial, a perda de água no sentido radial será de 20 a 50% (máxima 100%) maior do que no sentido tangencial. Esta proporção entre movimento radial e tangencial acentua-se com temperaturas mais altas.

A presença de fungos manchadores influi negativamente sobre o movimento da água na madeira, pois seus micélios bloqueiam os caminhos normais, reduzindo a velocidade de secagem. A presença de resina e outras inclusões causa o mesmo efeito.

### **Teor de umidade**

Um maior teor de umidade inicial da madeira ( $U_i$ ) resulta em um tempo de secagem mais longo, assim como, quanto mais baixo o teor de umidade final exigido ( $U_f$ ), maior será o tempo necessário para a secagem. Em resumo, a duração da secagem aumenta com a diferença entre  $U_i$  e  $U_f$ .

### **Massa específica**

A massa específica aparente da madeira é a relação entre a massa e o volume da mesma peça de madeira a um teor de umidade conhecido, em  $g/cm^3$ . Esta propriedade é influenciada por fatores externos e internos à madeira. Como fator interno destaca-se a estrutura anatômica do lenho. Dentre os fatores externos citam-se os aspectos do local de crescimento das árvores, tais como, clima, solo, altitude, umidade do solo, declividade, vento, espaçamento e associações de espécies, bem como intervenções silviculturais do tipo adubação, poda, desbaste e densidade do povoamento.

Em coníferas, a massa específica aumenta com a diminuição da largura dos anéis de crescimento. Quanto mais largo o anel, maior a percentagem de lenho primaveril, o qual tem baixa massa específica.

Normalmente a velocidade de secagem é inversamente proporcional à raiz quadrada da massa específica, ou seja, quanto maior a massa específica, maior o tempo de secagem, característica esta que pode ser observada na TABELA 1.

TABELA 1: Relação entre Massa Específica e Tempo de Secagem

Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	Tempo de Secagem (horas)
0,4	1,0 * t
0,6	1,8 * t
0,8	2,8 * t

FONTE: GALVÃO & JANKOWSKY(1984)

### **Estrutura das Tábuas**

A velocidade de secagem é inversamente proporcional à raiz quadrada da espessura da tábua, ou seja, quanto maior a espessura, maior o tempo de secagem.

### **Comprimento das tábuas**

A relação dos tempos de secagem de tábuas é de:

- 2 m (difusão tangencial) = 1:00 h;
- 2 m (difusão radial) = 0,9 h;
- Tábuas curtas 1 m = 0,75 h;
- Tacos de 60 cm = 0,60 h;

Sob mesmas condições de secagem. Disto resulta que o tempo de secagem aumenta com o comprimento das tábuas.

### **Contração e Inchamento da Madeira (Anisotropia)**

A anisotropia traz como consequência diferentes valores para o inchamento e para a contração nos três sentidos de orientação da madeira. Esta diferença se deve a estrutura microscópica e submicroscópica da madeira. A maior alteração dimensional se manifesta no sentido tangencial, depois no sentido radial e finalmente no longitudinal, que por ser tão baixa, é normalmente negligenciada na prática. As relações entre contrações verificadas nos diferentes sentidos indicam: 10 (tangencial) : 5 (radial) : 0,1 (longitudinal).

A pequena alteração no sentido longitudinal explica-se por estarem a maioria dos elementos estruturais constituintes da madeira organizados verticalmente, o que faz com que o número de paredes por  $\text{cm}^2$  seja bem menor neste sentido. Além disso, cada fibra de madeira tende muito pouco a se contrair axialmente devido a inclinação das microfibrilas de celulose constituintes da parede celular propiciarem a contração da célula em sua seção, e não na direção do seu comprimento. Algumas vezes podem mesmo ocorrer contrações negativas ao longo da grã, isto é a madeira pode ter dimensão axial um pouco maior na condição seca que verde. Na figura 02, pode-se observar o comportamento físico sofrido pela madeira devido a anisotropia após a secagem.

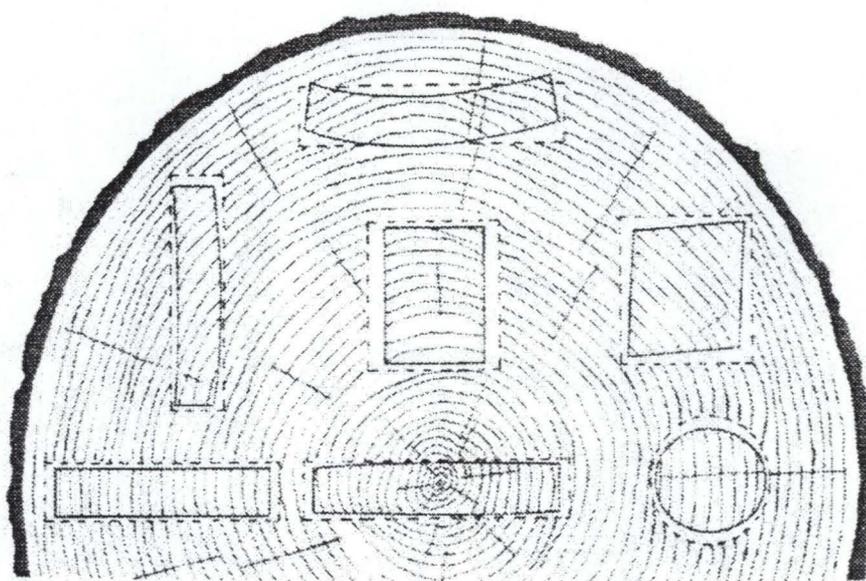


FIGURA 02 – Comportamento da madeira devido a anisotropia

Fonte: TOMASELLI & KLINTZE(2002)

A mudança de volume da madeira que se verifica devido a desorção adsorção de água é considerada uma de suas propriedades físicas mais importantes, afetando e limitando consideravelmente o seu uso industrial em vários ramos de utilização.

O aumento de volume ou inchamento de uma madeira deve-se, principalmente, à inclusão de moléculas de água nos espaços submicroscópicos localizados entre as micelas, afastando-as, alterando as dimensões da madeira. Da mesma forma, a diminuição de volume deve-se a retirada de moléculas de água dos espaços mencionados por evaporação, ocasionando a aproximação das micelas e finalmente a retração da madeira.

A anisotropia de contração é a relação entre a contração máxima tangencial e a contração máxima radial. A avaliação da qualidade da madeira segundo sua anisotropia está apresentada na TABELA 02.

TABELA 02 – Avaliação da qualidade da madeira segundo o coeficiente de anisotropia

<b>Coeficiente de Anisotropia</b>	<b>Qualidade da Madeira</b>
< 1,5	Madeira muito estável
1,6 até 2,0	Média baixa
2,0 até 2,5	Média alta
> 2,6	Madeira muito instável

Fonte: TOMASELLI & KLINTZE(2002)

Madeiras que apresentam alta contração volumétrica, alta anisotropia de contração e massa específica elevada são madeiras com grandes dificuldades de secagem, devendo ser empregado programas de secagem brandos.

#### **2.4.2. Fatores Inerentes ao ambiente**

Segundo TOMASELLI & KLINTZE(2002) Tanto na secagem em estufa como na secagem ao ar livre, a água é removida da superfície da madeira por evaporação. A velocidade de evaporação é controlada pela temperatura, umidade relativa e pela velocidade do ar que passa pela pilha de madeira.

##### **Temperatura**

O calor é necessário para evaporar a umidade da madeira. Fisicamente o calor é a fonte de energia da qual as moléculas de água contidas na madeira adquirem energia

cinética necessária para sua evaporação. A velocidade de evaporação depende da quantidade de energia (calor) aplicada por unidade de tempo e da capacidade do meio (ar) para absorver umidade da madeira.

Em estufa, a energia fornecida é por convecção, enquanto que na secagem ao ar livre a energia é fornecida por radiação direta do sol, elevando a temperatura da superfície da peça de madeira gerando defeitos (empenamentos e rachaduras), devido o gradiente de umidade gerado e pela constante variação de contração e inchamento da peça de madeira.

Normalmente, temperaturas mais altas reduzem o tempo de secagem, havendo portanto uma relação inversamente proporcional entre este e a duração da secagem (considerando-se temperaturas menores de 100°C).

A temperatura máxima com a qual se deve secar uma madeira é também determinada por suas próprias características, ou seja, sua consistência (dura ou mole), e são valores ditados pela experiência prática. De um modo geral, pode-se dizer que quanto mais mole à madeira (contém neste caso mais abertura para a saída de vapor de água), mais alta pode ser a temperatura de secagem e vice-versa.

### **Velocidade do ar (ventilação)**

A velocidade do ar controla a evaporação da água no processo de secagem. A circulação de ar fresco através da pilha expulsa a umidade da superfície da madeira. Suas funções principais são:

- Transmitir energia necessária para aquecer a água contida na madeira facilitando a evaporação.
- Transportar a umidade retirada da madeira.

As velocidades do ar consideradas como mínimas e máximas são 1,5 e 4 m/s, respectivamente. Porém, a velocidade mais econômica situa-se em torno de 2 m/s. Uma ventilação adequada é especificamente importante na secagem de madeiras com conteúdo de resina, onde as temperaturas devem ser baixas. A influência na ventilação diminui rapidamente abaixo de 40% de umidade.

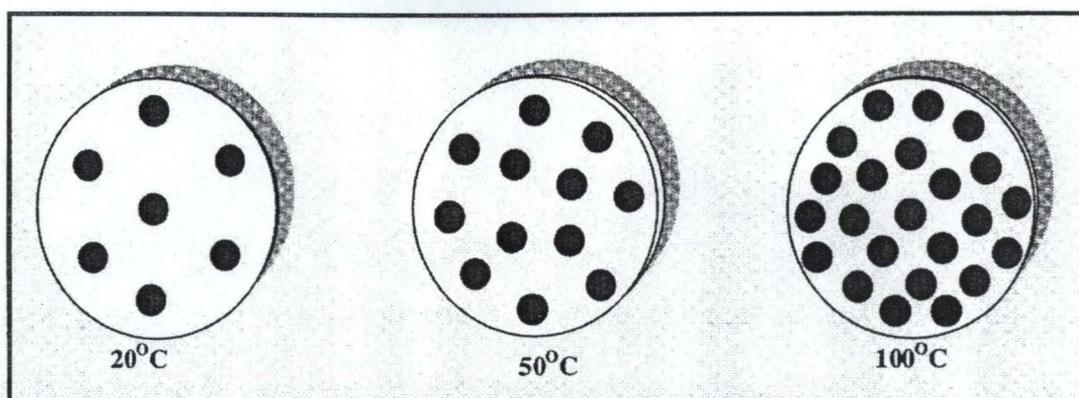
É muito importante a distribuição e uniformidade da velocidade do ar dentro da estufa, o que pode ser obtido, somente, com o emprego de sarrafos separadores de tamanho uniforme, defletores de fluxo de ar, etc.

### **Umidade relativa do ar**

A umidade relativa do ar é uma função da temperatura e da umidade absoluta do ar, e juntas controlam o teor de umidade de equilíbrio da madeira. Quanto mais baixa a umidade relativa do ar dentro da estufa, menor será o tempo de secagem.

Aquecer o ar, aumenta a capacidade de secagem, porque a elevação da temperatura causa uma queda na umidade relativa do ar. Desta maneira, pelo controle da umidade relativa é possível controlar a taxa de saída de umidade, controlando as tensões que se desenvolvem na madeira devido a contração durante a secagem.

Na figura 3, pode-se observar o desenho esquemático da variação da capacidade do ar em absorver vapor d'água em sua estrutura, variando sua temperatura. A pressão de vapor saturado será a mesma independente da quantidade de ar presente sempre que a temperatura permanecer constante. (Lei de Dalton).



Fonte: TOMASELLI & KLINTZE(2002)

FIGURA 3: Representação Esquemática da variação da capacidade do ar em absorver vapor d'água na sua estrutura em mesmo ambiente variando somente a temperatura

Nas estufas, a umidade relativa é medida através do psicrômetro (TBS / TBU), que consiste de dois termômetros idênticos, sendo que, em um deles o bulbo permanece livre (TBS), medindo a temperatura do ambiente. No outro termômetro, chamado de Termômetro de Bulbo Úmido (TBU), sua parte sensitiva é coberta com uma tela de algodão úmida a qual fica mergulhada dentro de um reservatório com água limpa (destilada), normalmente ocorre uma diferenciação entre as duas temperaturas medidas.

A diferença entre o TBS e o TBU irá ocorrer devido ao resfriamento causado pela evaporação de parte da água contida na tela, medindo a temperatura ambiente menos a perda de calor causado pela evaporação. A diferença entre as temperaturas medidas no TBS e no TBU e com auxílio de uma tabela, obtém-se a umidade relativa correspondente no instante medido. Quanto maior a diferença entre os dois termômetros menor será a umidade relativa do ambiente.

### **Umidade de Equilíbrio**

Fisicamente, a umidade de equilíbrio ocorre quando a pressão interna de vapor d'água na parede celular for igual a pressão externa de vapor d'água. Ela varia de espécie para espécie. A umidade de equilíbrio é obtida em função da umidade relativa e da temperatura. Para determinar a umidade de equilíbrio utilizam-se tabelas (U.S.D.A. *Forest Service*).

A umidade de equilíbrio é fundamental para a condução da secagem artificial. Ela é afetada pela umidade relativa do ambiente e pela temperatura, sofrendo influência da espécie, teor de extrativos, percentagem de cerne e alburno de uma mesma espécie.

Em secagem natural a madeira irá secar até a umidade de equilíbrio da região, nunca abaixo da mesma.

### **Gradiente de umidade**

Somente em madeira recém cortada se encontra uma distribuição mais ou menos uniforme do conteúdo de umidade através da seção transversal de uma peça. Assim que comece a secagem, seja natural ou artificial, a distribuição do conteúdo de umidade no interior da peça se modifica. De forma simples pode-se explicar a secagem da madeira como o resultado do movimento da umidade desde o interior até a superfície, onde se evapora e escapa para a atmosfera circundante.

Ao colocar-se uma peça de madeira úmida em contato com um ambiente seco inicia-se a evaporação da água presente nas capas superficiais, enquanto que as capas

internas permanecem ainda úmidas. A diferença entre o teor de umidade do centro da peça e da superfície denomina-se gradiente de umidade (GU), significando que quanto maior a diferença entre o teor de umidade da superfície e do centro mais elevado o gradiente de umidade.

Na secagem artificial da madeira é importante estabelecer um GU ótimo que determina o tempo de secagem sem correr riscos de ocasionar danos ou defeitos a madeira. Elevado GU causa um conteúdo de umidade abaixo do PSF nas partes externas da peça de madeira, as quais ficam impedidas de contrair porque as capas internas ainda contêm muita água livre (acima do PSF), gerando tensões na madeira que podem ocasionar deformações, podendo causar interrupções na circulação da água pela formação de uma capa muito seca que obstrui o fluxo capilar da umidade originando-se o fenômeno chamado endurecimento superficial, causar rachaduras internas ou de superfície, etc. Na secagem natural não se tem condição de controlar o GU da peça de madeira.

### **Potencial de Secagem**

No processo de secagem artificial existem dois valores que são de grande importância para estabelecer o comportamento da secagem. Estes valores são: o teor de umidade atual (TU atual) da madeira em um determinado momento e o conteúdo de umidade de equilíbrio (UE ) que depende das condições do ambiente do secador. A relação entre os dois valores se denomina potencial de secagem (PS). O potencial de secagem irá determinar a forma e o progresso da secagem da madeira. Ele pode ser calculado da seguinte forma:

$$PS = TU \text{ atual} / UE$$

Potenciais de secagem elevados produzem altas taxas de secagem reduzindo o tempo, causando uma secagem excessiva das capas superficiais da madeira com o risco de formação de tensões internas, gretas, deformações e endurecimento superficial. Um valor ótimo para o potencial de secagem depende de vários fatores: espécie, espessura da madeira, TU inicial, tipo de câmara, etc. Madeiras que apresentem coeficiente de anisotropia de contração elevado (acima de 2,5) deve-se adotar baixo potencial de secagem, em torno de 2,0 (moderado)

## ***2.5. Preparação da Madeira para a Secagem***

### **2.5.1. Preparação da Carga**

Para TOMASELLI & KLINTZE(2002), na preparação da carga devem ser levados em conta alguns fatores quais sejam:

#### **Espécie (Massa Específica)**

Uma mesma espécie de madeira composta de alburno secará mais rapidamente do que a madeira composta de cerne, no entanto, a madeira de alburno apresenta um teor de umidade inicial muito mais elevado que a do cerne.

A madeira quando estiver sendo preparada para secagem deve ser separada em classes de massa específica, principalmente se for para secagem artificial. O ideal é que não haja misturas de espécies nas câmaras de secagem.

### **Espessura da Madeira**

A espessura irá influir diretamente no tempo de secagem propiciando o surgimento de defeitos na madeira (rachaduras e empenamentos), quando a secagem não for bem conduzida. Quanto maior a espessura da madeira, maior será o tempo de secagem. A espessura oferece uma importância muito grande no processo de secagem, deve-se tomar cuidados na preparação da carga, evitando-se a mistura com espessuras diferentes apesar de mesma espécie.

Segundo GALVÃO & JANKOWSKY(1984), o tempo de secagem de uma madeira pode ser estimado pela seguinte fórmula:

$$T_2 = \left( \frac{E_2}{E_1} \right)^2 \times T_1$$

Onde:

$T_2$  = Tempo de secagem estimado (horas)

$E_2$  = Espessura da madeira à estimar o tempo (cm)

$E_1$  = Espessura da madeira com tempo de secagem conhecido (cm)

$T_1$  = Tempo de secagem da madeira da espessura  $E_1$  (horas).

A rapidez da secagem é afetada pela remoção da água da superfície e, é indiretamente proporcional à espessura da peça de madeira. Quanto maior a espessura da madeira, maior será a quantidade de paredes celular a serem atravessadas.

### **Teor de Umidade Inicial**

A estimativa do teor de umidade inicial é de fundamental importância no processo de secagem da madeira, principalmente na secagem artificial, pois a condução da secagem com relação as variáveis envolvidas na programação é balizada na umidade inicial. Na secagem artificial toda a carga de madeira presente no interior da câmara deve apresentar um teor de umidade médio muito bem representado. A carga a ser seca somente irá apresentar uma secagem homogênea se a umidade inicial for bem determinada.

### **Separadores (tabiques)**

São peças utilizadas no empilhamento, para separar as camadas do material em secagem de maneira a deixar espaços onde o ar possa circular durante o processo de retirada da umidade. Os tabiques devem ser obtidos, preferencialmente de madeiras estáveis e duras, de grã reta e tanto quanto possível isentas de defeitos. Antes de utilizados devem ser secos em estufas e empilhados longe do solo, bem apoiados para não deformarem, e sua seção transversal deverá ser uniforme em todo seu comprimento.

A correspondência entre a espessura dos separadores e as peças se devem a capacidade de evaporação da água que tem a madeira segundo sua espessura. Igualmente, a distância entre os separadores está em função da espessura das peças, quanto mais finas,

menor deverá ser a distância entre os tabiques para evitar deformações. Nas áreas de contato dos tabiques com as peças a secagem é retardada, portanto não convém usar mais tabiques do que o necessário. Os tabiques devem apresentar de preferência sua largura maior do que a sua altura para facilitar ao tabicador no momento do gradeio. Na TABELA 3 é apresentada a relação entre a espessura das peças e a espessura dos tabiques e ainda qual sua distância ideal.

TABELA 03 – Características dos tabiques

Espessura das Tábuas(mm)	Espessura dos Separadores(mm)	Distância entre os separadores (mm)
Menos de 20	20	300 – 400
20 – 30	25	400 – 500
30 – 40	30	500 – 600
40 – 50	35	700 – 800
50 – 60	40	900
Mais de 60	45	1000

Fonte: TOMASELLI & KLINTZE(2002)

Na prática é difícil armazenar tabiques com diferentes dimensões para serem utilizados de acordo com a madeira que se pretende secar, principalmente quando se trabalha com material de diferentes espécies e espessuras. Nestas condições, a experiência irá determinar a espessura ideal de tabique a utilizar. Os tabiques separadores são elementos valiosos na secagem e devem ser manipulados com cuidado, os mesmos serão utilizados muitas vezes na secagem da madeira.

### Empilhamento (Gradeamento)

Além de acomodar a carga, o empilhamento deve facilitar a circulação do ar através das camadas de peças de madeira. Os tabiques devem ser colocados transversalmente com relação ao comprimento da tábua.

O empilhamento pode ser realizado manual ou mecanicamente. Quanto se realiza por meios mecânicos, se utilizam equipamentos especialmente desenvolvidos para tal função. Esta operação consiste somente em colocar um tabique sobre o outro. A altura das pilhas pode chegar a 5m, mas normalmente não ultrapassa 1,2m. Pilhas muito altas tornam-se muito instáveis devido a sua esbelteza.

É importante ressaltar que os separadores colocados nos extremos das pilhas devem formar um plano com a superfície transversal das tábuas. Desta maneira, controla-se as rachaduras dos extremos, ao retardar-se o secamento destas zonas. O alinhamento no sentido vertical dos tabiques também é outro fator importante sendo indispensável para minimizar ao máximo a propensão a defeitos, principalmente empenamentos. Pode-se observar na FIGURA 4 a maneira correta de gradeamento.

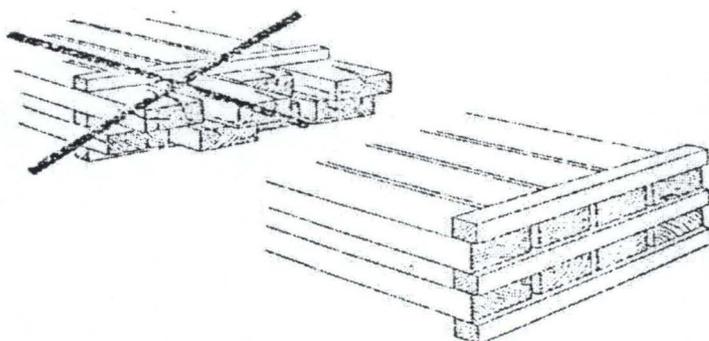


FIGURA 4 – Forma de gradeamento correto e incorreto da madeira

Fonte: TOMASELLI & KLINTZE(2002)

Para facilitar o trabalho de empilhamento e manter a uniformidade das fileiras e dos tabiques separadores, se utilizam algumas guias portáteis que acomodam os tabiques. A seguir pode-se observar na FIGURA 5, um desenho esquemático da maneira de construção do suporte base para o tabicamento manual correto.

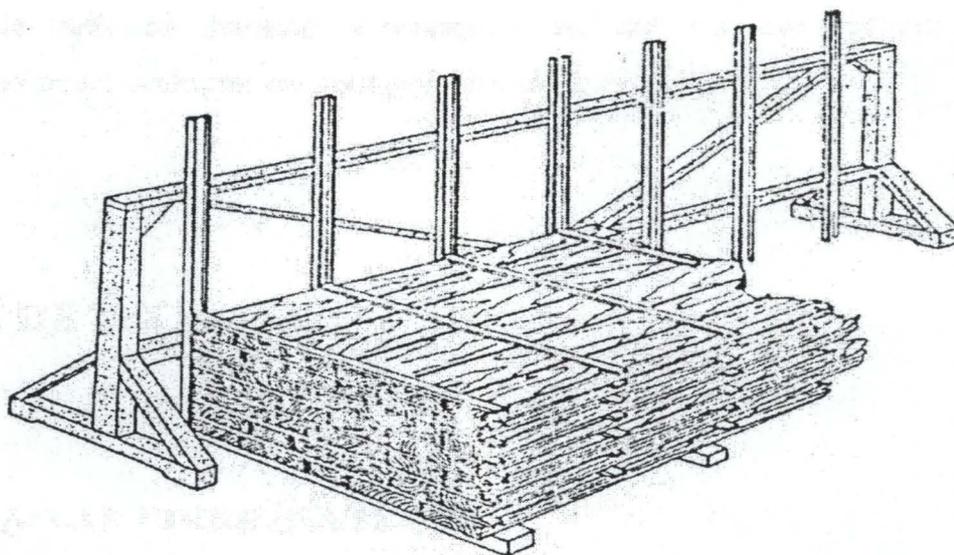


FIGURA 5 – Gabarito para gradeio da madeira

Fonte: TOMASELLI & KLINTZE(2002)

Intercalando cada pilha ou pacote de madeira são utilizados blocos com seção transversal normalmente quadrada com uma altura de aproximadamente 4 cm para facilitar a colocação e retirada do pacote ou pilha pela empilhadeira.

## **2.6. Secagem em Estufa**

Segundo TOMASELLI & KLINTZE(2002), uma câmara de secagem de madeira consiste de uma ou mais câmaras planejadas para fornecer e controlar as condições ambientais de calor, umidade relativa do ar e ventilação necessária para uma correta secagem da madeira. Como o desenvolvimento da estufa de secagem moderna tem progredido, um número de projetos modificado tem sido explorado em relação ao mecanismo de fornecimento de calor, arranjo e tipo de ventiladores, controladores de temperatura e da umidade relativa e de temperatura do bulbo úmido (TBU) e uso de vários tipos de materiais de construção da câmara.

O projeto da câmara tem uma relação importante na sua operação e na eficiência na secagem. Uma estufa corretamente projetada e operada secará mais espécies de madeira contendo umidade especificada entre 3 e 19% num razoável tempo, sem perdas significativas causadas por defeitos de secagem.

### **2.6.1. Secagem Convencional (de 50 até 100°C)**

A secagem convencional ou artificial é o processo de secagem mais utilizado no mundo inteiro e se desenvolve a temperaturas de 50 até 100°C. A operação é conduzida em câmaras ou estufas, nas quais se podem controlar a temperatura, a umidade relativa e a velocidade do ar. A velocidade do ar fica em torno de 1,5 a 2,5 m/s constantes, a capacidade da câmara varia de 10 a 150 m<sup>3</sup> e o tempo de secagem é de dias, variando com a espécie, espessura e etc.

Para esquentar estas câmaras se utilizam diversas fontes térmicas, sendo as mais comuns vapor d'água, água quente, eletricidade e óleo térmico, sendo o vapor o sistema de aquecimento mais utilizado pelas indústrias. A madeira serrada é gradeada em forma de pilhas e armazenada adequadamente no interior das câmaras de secagem.

A secagem da madeira se realiza seguindo um programa previamente estabelecido, com etapas climáticas progressivamente mais secas e quentes. O controle das condições climáticas se efetua mediante termômetros de bulbo úmido e seco (psicrômetro), os termômetros e os sensores do equilíbrio do conteúdo de umidade, que permitem conhecer a temperatura e a umidade relativa do ar dentro da câmara, possibilitando manter o sistema por controles manuais, semi-automáticos e automatizados, nas condições ambientais desejadas. É apresentado na FIGURA 6 um tipo de secador convencional de carregamento por empilhadeira.

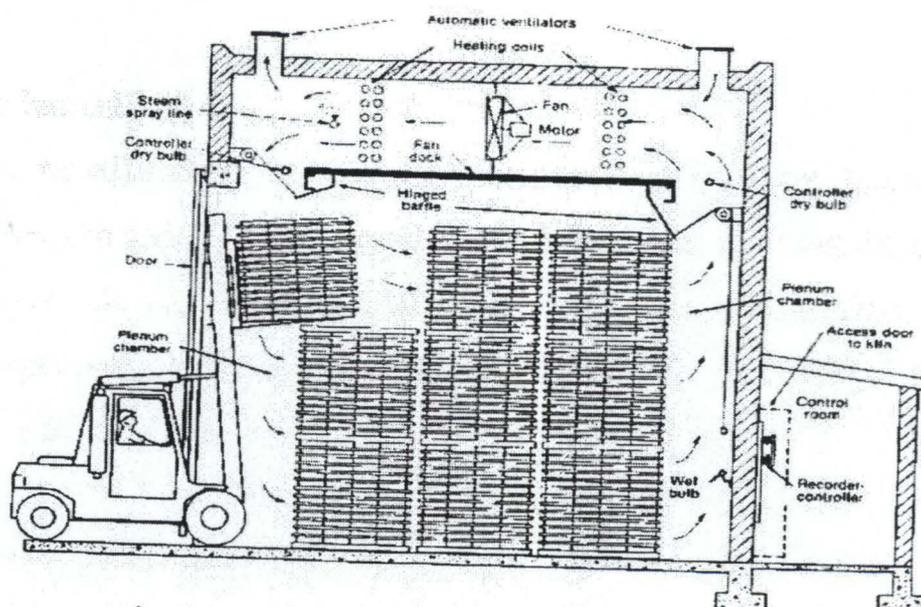


FIGURA 6 – Secador Convencional de Madeiras

Fonte: TOMASELLI & KLINTZE(2002)

### **Câmaras de secagem**

São a princípios quartos hermeticamente fechados e equipados com sistema de aquecimento (radiadores), ventiladores para circulação do ar, equipamento de umidificação, válvulas para a troca do ar (entrada e saída do ar) para variar e controlar o clima dentro da câmara.

As portas da câmara de secagem devem ser construídas com um material resistente à ação do clima agressivo que age dentro do secador durante o processo de secagem.

A construção do secador pode ser feita com tijolo, concreto ou com elementos pré-fabricados de alumínio ou aço inoxidável. Estes últimos são muito resistentes a intempéries e ao mesmo tempo não são afetados pela acidez do clima dentro do secador.

### **Sistema de Ventilação**

#### **Ventilação Superior**

Com a circulação de ar no sentido transversal, os ventiladores são axiais, quase sempre com giro reversível para conseguir uma ótima distribuição do fluxo de ar na largura e na altura do secador. Localizam-se sobre um falso teto que forma uma câmara separada do recinto onde se empilha a madeira. Dependendo do diâmetro e distância dos ventiladores, se ganha nestes casos velocidade do ar entre 1,0 e 7,0 m/s.

Os motores se localizam dentro da câmara sobre um falso teto. Devem ser construídos para suportar temperaturas e umidades relativa muito altas.

### **Ventilação lateral**

Neste caso os ventiladores se instalam entre uma parede lateral e a pilha de madeira, os ventiladores são axiais, as vezes de diâmetro igual a altura da pilha de madeira. Abrangem desde o piso e não exigem um falso teto como no caso anterior. O ar é projetado horizontalmente, atravessando a pilha de madeira em direção transversal. O retorno se faz sobre a pilha ou através dela.

### **Meio de Aquecimento**

O aquecimento deve efetuar-se de forma indireta. Para isto se usam várias fontes de calor tais como: gases quentes, ar ou vapor, sendo o vapor o mais comum. A utilização de energia elétrica é uma exceção, sendo usada normalmente no sistema de ventilação.

O aquecimento do ar dentro da câmara se faz por meio de radiadores que conduzem o calor na câmara. Existem vários tipos de superfícies radiadoras, tais como resistência elétrica, tubos para gases quentes, radiadores para vapor e água quente.

Os radiadores a vapor apresentam vários tubos com diâmetro entre 2 e 7 cm, que estão conectados nos extremos a tubos de maior diâmetro, um para alimentar de vapor e outro para a drenagem dos condensados. Estes radiadores devem conter aletas em forma de lamina de radiação dos tubos lisos de 5 a 8 vezes mais. Com o objetivo de melhorar a

eficiência e prolongar sua duração, sem a necessidade de manutenção freqüente, se tem desenhado serpentinas com os tubos de ferro e as aletas de alumínio (bimetalicos).

As serpentinas devem ser projetadas para aquecer uniformemente a câmara. A medida que o vapor circula por entre eles, estes vão transferindo seu calor ao meio ambiente que o rodeia e se vai condensando no caso do vapor. Quanto maior for a diferença de temperatura e maior a circulação do ar, maior será a transferência de calor.

Como o vapor tende a condensar-se, a água resultante deve ser evacuada do interior das serpentinas, para o qual se utilizam purgadores localizados na parte inferior dos cabeçotes de drenagem. Normalmente coloca-se as serpentinas inclinadas com um ângulo de 1 a 2% no cabeçote de alimentação na parte superior, para que ajude a evacuar o condensado por gravidade.

Uma capacidade de aquecimento corretamente dimensionada deve permitir o aquecimento do ar dentro da câmara de 20 a 80°C em aproximadamente 3 horas. Isto é válido para secadores com uma capacidade de até 150 m<sup>3</sup> de madeira serrada.

Um sobre dimensionamento da capacidade de aquecimento significa dificuldades de controle do clima, devido a amplitudes grandes e indesejáveis da temperatura dentro da câmara de secagem.

O aquecimento deve ser colocado e distribuído de tal forma que permita um aquecimento uniforme e um consumo mínimo de calor durante o processo de secagem. Uma distribuição rápida e uniforme dentro do sistema de aquecimento no comprimento da câmara é muito importante para uma secagem correta.

### **Controle da Temperatura**

Os termômetros mais utilizados são aqueles com leitura direta (de mercúrio). O bulbo sensor localiza-se na parte média da câmara numa parede lateral. O funcionamento deste equipamento deve ser verificado periodicamente com um termômetro padrão.

Outra forma de controle da temperatura dentro do secador se efetua mediante um termômetro tipo termostato (PT100) chamado de termômetro de bulbo seco da câmara (TBS), que faz a leitura e envia a um outro meio de leitura, um CLP ou computador.

A temperatura se eleva no secador mediante o acionamento das serpentinas do radiador. Este acionamento deve ser feito automaticamente mediante os termostatos e as válvulas correspondentes.

### **Controle da umidade relativa**

A umidade relativa do ar pode ser medida através do psicrômetro, verificando a diferença das leituras entre os dois termômetros (TBS e TBU). Quando o controle da umidade relativa se faz com o psicrômetro, a leitura do termômetro úmido (TBU) deve ser o mais precisa possível. Isto significa que o recipiente de água e a malha de algodão que o mantém úmido deve estar livre de incrustações que alterem sua leitura. Os dois termômetros devem ser colocados próximos.

Atualmente existem câmaras que operam automaticamente, mediante sistema computadorizado que opera o sistema todo a partir da variação do teor de umidade da madeira obtida através de sensores fixados em determinadas peças de madeira, no interior da câmara.

A injeção de umidade (vapor) no interior da câmara é necessária somente em poucas etapas da secagem. Algumas vezes, no começo da secagem e nas etapas intermediárias, se aplicam tratamentos para impedir ou evitar danos ocasionados por tensões de secagem. Ao final da secagem se aplica o tratamento de homogeneização da umidade e equilíbrio das tensões, quase sempre durante o processo de secagem é indispensável injetar vapor ou aspergir água para incrementar a umidade relativa do ar.

A vaporização ou umidificação do meio ambiente da câmara se faz automaticamente e é governada pelo TBU ou pelas aberturas e saídas de ar (sistemas on/off ou proporcionais).

## **2.7. Programas de Secagem**

### **2.7.1. Programas de Secagem para Estufas Convencionais**

Um programa de secagem pode ser definido como um plano preestabelecido, contendo as alterações adequadas de temperatura e umidade relativa do ar que devem ser aplicadas à carga de madeira ao longo da secagem. Um programa adequado, quando corretamente utilizado deve possibilitar a obtenção de madeira seca no teor de umidade final desejado, com o mínimo de defeitos e no menor tempo possível.

De acordo com ARGANBRIGT(1981), citado por MENDES *et al*(1999), um programa típico apresenta três fases distintas:

### **Período inicial para controle de defeitos (fase I)**

Inicia-se com o aquecimento gradativo da carga de madeira, procurando-se manter a maior umidade relativa do ar possível na câmara. Esta condição pode ser obtida alternando-se períodos de aquecimento com umidificação intensa, até que a carga atinja a temperatura inicial, determinada pelo programa recomendado. Condições amenas de temperatura e umidade relativa do ar são necessárias, pois, nesta fase, a madeira está susceptível ao desenvolvimento de tensões que, quando intensas, podem resultar em rachaduras (superficiais e de topo) e colapso.

### **Período de secagem acelerada (fase II)**

Alcançada a temperatura inicial de secagem e ocorrendo a inversão das tensões entre a superfície e as camadas mais internas da madeira, a secagem pode ser acelerada com menor risco de desenvolvimento dos defeitos mencionados na fase I. O objetivo agora é secar o mais rápido possível, por meio do aumento da temperatura e da redução da umidade relativa do ar de forma gradativa, a principio, conforme estabelecido pelo programa. Da-se continuidade ao processo de secagem até o teor de umidade final desejado.

### **Período final de controle de qualidade (fase III)**

Esta fase é constituída de duas etapas distintas, conhecidas por igualização (equalização) e condicionamento.

A etapa de igualação ou equalização objetiva uniformizar o teor de umidade final entre as peças da carga em torno da umidade pré-estabelecida.

A etapa de acondicionamento visa amenizar o gradiente de umidade em cada peça da carga e também aliviar as tensões internas que se desenvolveram na madeira durante a secagem.

### **Tipos de programas**

Os programas podem ser baseados na redução gradual do teor de umidade médio da carga de madeira, obtido de amostras-testes durante a secagem, ou em intervalos de tempos, conforme disse ARGANBRIGT(1981), citado por MENDES *et al*(1999).

Quando regidos pelo teor de umidade tomam como base o potencial de secagem ( $P_s$ ), que é a relação entre o teor de umidade médio da carga (TU) e o teor de umidade de equilíbrio (TUE) num dado instante. Em última análise, o potencial de secagem expressa a severidade ou a suavidade das condições de secagem às quais a madeira está sujeita num determinado momento. Pode-se estabelecer um potencial de secagem fixo para todo o programa ou variáveis, dependendo de como este é desenvolvido.

HILDEBRAND(1970), citado por MENDES *et al*(1999), apresenta programas baseados em potenciais diferenciados para cada faixa de temperatura. Muitas vezes, o potencial de secagem não está explícito, sendo apresentado apenas teores de umidade médios da madeira, teores de umidade de equilíbrio, temperaturas do bulbo seco e do bulbo úmido e umidades relativas do ar.

Os programas de intervalos de tempo são utilizados quando as mudanças das condições de secagem, regidas por um programa, baseado no teor de umidade médio da

carga, passam a ser bem conhecidas em decorrência da realização de várias secagens no mesmo equipamento, com madeiras de mesma espécie, de igual procedência e espessura e para um mesmo uso final. Neste caso, as mudanças das condições de secagem estabelecidas podem ser feitas em intervalos de tempo conhecidos previamente pelo operador.

Os programas baseados no teor de umidade médios da madeira têm tendência natural a evoluírem para programas de tempo, uma vez que é muito mais prático fazer as modificações necessárias em intervalos de tempo previamente definidos do que com base no teor de umidade médio da carga.

## **2.8. Defeitos de Secagem**

Na secagem convencional, o controle na ocorrência de defeitos está quase sempre ligado à adequação do programa utilizado. A seguir, são apresentados os defeitos mais comuns desenvolvidos durante a secagem e as respectivas modificações que devem ser feitas nos programas, a fim de minimiza-los ou mesmo elimina-los, de acordo com ARGANBRIGHT (1981), citado por MENDES *et al* (1999).

### **2.8.1. Tipos de Defeitos**

#### **Rachaduras superficiais**

As rachaduras superficiais aparecem quando as tensões que excedem a resistência da madeira à tração perpendicular às fibras desenvolvem-se na superfície,

devido a uma secagem inicial muito acelerada que produz diferença acentuada entre os teores de umidade da superfície e do centro da madeira (superfície sob tração e interior sob compressão). Quanto mais espessa for a madeira, maior a possibilidade do aparecimento de rachaduras superficiais.

Este defeito ocorre, principalmente, na fase inicial da secagem e, quando detectado a tempo, pode ser reduzido, aumentando-se a umidade relativa dentro da câmara. Isto é conseguido elevando-se a temperatura do bulbo úmido, sem alterar a temperatura do bulbo seco.

### **Rachaduras nos extremos ou de topo**

Estas rachaduras são causadas pela secagem mais rápida das extremidades em comparação com o restante da peça de madeira, principalmente durante a fase I. São mais frequentes em peças de maior espessuras e podem ser reduzidas aplicando-se o mesmo procedimento descrito acima, sendo também recomendado a vedação dos extremos com produtos impermeabilizantes (resinas hidro-asfálticas ou tintas apropriadas).

### **Rachaduras internas ou em “favo de mel”**

Aparecem na fase II da secagem, quando se desenvolvem as tensões de tração no interior da peça (superfície sob compressão e centro sob tração). Estas tensões causam rachaduras internas quando o esforço excede as forças de coesão entre as células da madeira. Apesar destas rachaduras manifestarem-se somente na fase II, seu controle deve ser feito ainda na fase I.

Quando muito acelerada, a secagem causa um desequilíbrio entre as tensões no interior e na superfície da peça que acaba por produzir rachaduras internas, à medida que o processo evolui. Deve-se manter na fase I, a temperatura do bulbo seco e aumentar a temperatura do bulbo úmido (umidade relativa alta dentro da câmara). As tensões que se desenvolvem na peça de madeira ao longo da secagem podem ser determinadas e avaliadas pelo teste do garfo.

### **Colapso**

Deformação causada por forças capilares durante a remoção brusca de água que acarreta a perda de turgescência das células. Isto acontece quando a madeira com alto teor de umidade e, em geral, com altos teores de extrativos são submetidas à secagem sob temperaturas elevadas. Inicialmente não é visível, mas a madeira pode apresentar-se ligeiramente ondulada com o decorrer do processo de secagem. Para reduzir a ocorrência do colapso, deve-se abaixar a temperatura do bulbo seco nas fase iniciais (I e II). Quando ocorrer em níveis moderados, pode ser removido no condicionamento.

### **Endurecimento superficial**

Durante a secagem convencional é comum desenvolverem-se tensões de compressão na superfície e de tração no interior da peça de madeira, causadas pelo aparecimento de um gradiente de umidade ao longo da espessura. Se esses esforços de compressão e tração forem superiores ao limite de proporcionalidade (limite elástico) da

madeira, podem causar deformações residuais que permanecem mesmo quando o gradiente de umidade ao longo da espessura é eliminado.

Este fenômeno, conhecido por endurecimento superficial ou encruamento, é detectado e analisado pelo teste do garfo. Apesar do desenvolvimento destas tensões ser considerado normal na secagem forçada, quando a madeira se destina a usinagem após a secagem, o encruamento deve ser removido através do condicionamento, do contrário, podem ocorrer defeitos como rachaduras e empenos que comprometerão o seu uso.

### **Endurecimento superficial reverso**

Ocorre no processo de secagem, quando a madeira se encontra com tensão de tração na superfície e de compressão no interior, sendo eliminado no decorrer do processo com a reversão das tensões. Entretanto, o endurecimento superficial reverso pode surgir ao final da secagem, quando o período de condicionamento for muito longo, tornando-o irreversível. Em ambos os casos, o teste do garfo é utilizado para verificar a existência ou não deste tipo de endurecimento.

### **Verificação do endurecimento superficial**

Para verificar a existência de endurecimento superficial, reverso ou não, realiza-se o teste do garfo. Este teste consiste na retirada de uma amostra de 2,5 cm de largura, cortada perpendicularmente ao longo do comprimento da peça de madeira, e no mínimo a 30 cm do seu extremo. Na amostra retirada, abre-se um ou mais dentes, dependendo da espessura da tábua, com uma serra-fita. Para espessuras de até 4 cm, serram-se 3 dentes

iguais e retira-se o dente central. Para espessura acima de 4 cm, serram-se 6 dentes e retiram-se o segundo e quinto dentes.

RASMUSSEN (1961), citado por MENDES *et al* (1999) recomenda o seguinte procedimento para avaliação do endurecimento superficial: se, no momento da preparação do garfo, os dentes externos da amostra arquearem-se para fora a uma distância igual ou ligeiramente maior que a própria espessura do dente, a carga estará provavelmente livre de endurecimento, podendo ser retirada e processada. Porém, se estes dentes projetarem-se para dentro, apertando a serra, ou permanecerem retos, a carga estará com endurecimento superficial, necessitando do condicionamento.

Esta análise, efetuada no procedimento de serrar a madeira, é considerada preliminar. Após a exposição dos garfos ao ar por um período de 16 a 24 horas, para a eliminação dos gradientes de umidade nos corpos de prova, procede-se a uma nova análise, denominada análise final.

Os critérios para analisar os resultados do teste do garfo são:

- Se os dentes externos do garfo arquearem-se para dentro, a madeira ainda apresenta endurecimento e o período de condicionamento deve ser prolongado para as cargas semelhantes da mesma espécie.
- Se os dentes externos que estavam arqueados para fora, apresentarem-se completamente retos, a carga deverá estar livre de endurecimento. O mesmo período de condicionamento deve ser usado para cargas similares da mesma espécie.
- Se os dentes externos arquearem-se consideravelmente para fora, indicando que a carga apresenta endurecimento reverso, o período de

condicionamento para as cargas subseqüentes de material semelhante deve ser diminuído.

### **Empenamentos**

Os empenamentos normalmente ocorrem durante a secagem devido a propensão da própria madeira ou por mau empilhamento ou ainda pela falta de restrição na pilha.

Existem quatro formas comuns de empenamentos que, normalmente, decorrem do processo de secagem natural ou artificial: encanoamento, arqueamento, encurvamento e torcimento. Estas deformações são causadas por:

Diferença entre a contração radial, tangencial e longitudinal em uma mesma peça de madeira (anisotropia de contração), à medida que esta vai secando; Presença de lenho juvenil; Desvio de grã; Presença de madeira de tração ou de compressão, formada durante o crescimento da árvore; Presença de endurecimento superficial não removido pelo condicionamento.

### **Encanoamento**

É um tipo de empenamento das peças de madeira quando as arestas ou bordas longitudinais não se encontram no mesmo nível que a zona central. É reconhecido quando ao colocar a peça de madeira sobre a superfície plana, apoiará a parte central da tábua, ficando os bordos levantados, apresentando um aspecto curvo.

### **Arqueamento**

É um tipo de empenamento ou curvatura no comprimento da face da peça. Reconhece-se quando ao colocar a peça sobre uma superfície plana, se observa uma luz ou separação entre as faces (largura da tábua) da peça de madeira e a superfície de apoio.

### **Encurvamento**

É um empenamento no comprimento da peça de madeira. Reconhece-se quando ao colocar a peça de madeira sobre uma superfície plana, se observa uma luz ou separação entre o canto (espessura) da peça de madeira e a superfície de apoio.

### **Torcimento e encurvamento complexo**

São tipos de empenamentos que ocorrem tanto no comprimento como na largura da peça de madeira que não se encontram no mesmo plano. Se reconhece quando coloca-se a peça de madeira sobre uma superfície plana, se observa levantamento de uma das arestas em diferentes direções

### **Mancha marron (química)**

RASMUSSEN(1961), citado por MENDES *et al*(1999) diz que as manchas da madeira podem ser produzidas pela ação de fungos ou por alterações químicas que ocorrem com os extrativos solúveis em água. Há evidências que os açúcares e os taninos ambos

sujeitos a oxidação, com posterior escurecimento quando expostos ao calor em presença de oxigênio. O desenvolvimento é favorecido pelos seguintes fatores:

- Intervalo de tempo decorrido entre a derrubada da árvore e seu desdobro, bem como entre o desdobro e a secagem;
- Extrativos da madeira;
- Condições de secagem.

Com a temperatura, os extrativos são solubilizados e transportados para a superfície, observando-se que a 50°C a coloração é normal, alterando-se para amarelo e marrom escura quando a secagem é conduzida a 60 e 120°C, respectivamente. Observa-se ainda que a mancha marrom forma ao utilizar-se altas temperaturas quando o teor de umidade da madeira encontra-se acima de 40%.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### ***3.1. Descrição da Indústria***

Trata-se de uma indústria de base florestal, Battistella Indústria e Comércio Ltda, empresa composta por uma unidade de desdobro de toras de *Pinus spp* em madeira serrada e lâminas para a manufatura de painéis, pré-cortado, e *clear block's*. Localiza-se na cidade de Lages, Estado de Santa Catarina, às margens da BR 166 Km 247, desde o ano de 1973. Atende o mercado interno, composto por moveleiros e construção civil e, externo na Europa, Ásia e continente Americano. A fonte de matéria prima é toda composta por reflorestamentos próprios, devidamente conduzidos para madeira e lâminas. Faz parte de um conglomerado de empresas que atuam nos mais diversos ramos da economia, tais como: Comércio de caminhões, rolamentos, reflorestamento, indústria extrativa, mecânica.

### **3.2. Setor alvo**

Utilizou-se no trabalho o secador de madeiras (estufa) número três automatizado com sistemas MARRARI, com capacidade para aproximadamente 110 m<sup>3</sup> de madeira de 38mm de espessura nominal. As fases avaliadas foram a de secagem em estufa, descarregamento, classificação e aplainamento de peças.

### **3.3. Recursos utilizados**

Utilizou-se trena, medidores de umidade modelo DL 822, marca digisystem, psicrômetro, peças amostra, automação Marrari, estufa convencional marca Omeco, microcomputador, plaina moldureira marca Weinig.

### **3.4. Metodologia**

- Definiu-se o tema da monografia, como sendo a redução do percentual de trincas superficiais e internas na madeira destinada a *clear block's*;
- Elaborou-se juntamente com a Professora Martha Andreia Brand, orientadora da monografia, toda a estratégia, incluindo a revisão teórica, preparação de amostras, programa de secagem, e relatório;

- Efetuou-se o levantamento de dados históricos, analisando-se a situação atual do setor de secagem, com detalhamento do processo, referente ao secador número três;
- Verificou-se o número de trincas que ocorrem durante o processo de secagem, antes de colocar em práticas as sugestões definidas;
- Analisou-se o programa de secagem atual e elaborou-se propostas para melhoria neste programa, baseando-se na teoria, adequando-se conforme a necessidade e avaliação realizada. Procurou-se reduzir a temperatura inicial até que a madeira chegue ao PSF, aumentando-se o tempo em cada fase do processo. Manteve-se o banho em todas as fases e valores para TBU de forma que a umidade relativa permanecesse alta até o PSF, variando de 90 até 55%;
- Aplicou-se o programa de secagem sugerido e acompanhamento do mesmo, separando em seguida 100 peças de amostra, aplainando-as e verificando a incidência de trinca.
- Baseado nos dados levantados elaborou-se as considerações e sugestões contidas nesta monografia.

## 4. RESULTADO E DISCUSSÕES

### 4.1 Avaliação do Processo de Secagem da Madeira

#### 4.1.1. Gradeação

As tábuas, destinadas a produção de *clear block's*, que são serrada em lote por largura, caem numa esteira com aproximadamente 12 metros, onde seis pessoas em duplas efetuam o gradeamento com o auxílio de um gabarito de madeira, que facilita a colocação correta dos cabos separadores. As bitolas normalmente serradas são 38 mm de espessura por 100 a 275 mm de largura por 2,6 metros de comprimento como se pode observar na TABELA 4.

TABELA 4 – Conversão das dimensões polegadas X milímetros

<b>LARGURA EM POLGADAS</b>	<b>LARGURA EM MILIMETROS</b>
4	100
5	125
6	150
7	175
8	200
9	225
10	250
11	275

---

Fonte: Battistella Indústria e Comércio Ltda

As grades formadas na serraria são transportadas até o barracão de formação da carga, através de empilhadeira. Neste barracão a carga é montada em vagonete com o auxílio de uma ponte rolante, o que facilita sobremaneira o trabalho e melhora a qualidade da carga preparada.

As madeiras compradas no estado verde/úmido, também recebem o mesmo tratamento, sendo preparadas para entrarem no processo de secagem.

#### **4.1.2. Características da Estufa Utilizada no Estudo**

A estufa três é uma câmara de secagem com 14,80 m de comprimento por 4 m de altura e 5 metros de largura, garantindo uma capacidade de aproximadamente 110 m<sup>3</sup> de madeiras, distribuídas em 60 grades com 2,6 m de comprimento por 1,20 de largura. A ventilação é através de quatro ventiladores superiores, que fornecem dois a quatro m/s de velocidade do ar, medida por técnicos da empresa.

A umidificação do ambiente é feita através da injeção de vapor vivo, controlado pelo programa de secagem e automação Marrari. A troca do ar saturado é feita por damper's instalados na parte superior da câmara em número de quatro de cada lado. O aquecimento é feito pela passagem de vapor por trocadores de calor comumente chamados de radiadores.

Existem ainda oito pinos sensores que são cravados na madeira e fornecem uma leitura do teor de umidade da madeira e, que servem de parâmetro para o sistema controlar o processo, determinando o momento de troca de fase até o final do processo de secagem. O psicrômetro é o conjunto de dois termômetros, um de bulbo seco e outro de bulbo úmido que estão instalados do lado esquerdo da câmara, e mais um termômetro de bulbo seco do lado direito. Esta câmara trabalha com reversão dos ventiladores em espaços de tempo definidos pelo operador, daí a necessidade da leitura da temperatura do ar em ambos os lados da estufa.

### **4.1.3. Classificação da Madeira**

A empresa possui duas esteiras para classificação da madeira seca, onde dez pessoas, incluindo aí o operador de empilhadeira e também o apontador de produção, classificam toda a madeira que é seca nas estufas da empresa ou de terceiros.

A madeira após a secagem é retirada de dentro da câmara e permanece por minutos ou no máximo horas para então entrar nas esteiras de classificação.

Nesta etapa, atualmente, classifica-se a madeira, da seguinte forma: Separa-se a madeira que apresenta medula e cerne daquela limpa e, as peças que apresentam excesso de esmoado, madeira podre, com excesso de nós muito próximos uns dos outros ou com trincas aparentes são empacotadas separadas e seguem para o setor de preparação de tapetes, popularmente chamado na empresa de setor de miolo.

Normalmente as trincas não são aparentes na madeira bruta. Somente após o aplainamento é que se percebe com facilidade, o que causa transtorno na classificação, haja vista que o setor de *clear block's* é que vai perceber o excesso de trincas.

### **4.1.4. Setor de *Clear Block's***

Este setor é composto por uma linha de destopadeiras, e mais uma plaina, sendo que toda a madeira é aplainada nas quatro faces, e destopada. O destopo tem a função de retirar os defeitos inerentes a madeira, ou seja, os nós, podridão etc., e os defeitos de secagem, tais como, trincas superficiais e internas. Os empenamentos são corrigidos no momento do aplainamento.

Após a madeira ser destopada, é pré-classificada pelo operador de destopadeira que possui duas caixas mais duas esteiras transportadoras paralelas. Numa das caixas ele coloca as peças de clear classe “A”, na outra as peças clear classe “B” e nas esteiras, de um lado, as peças classe “C”, que admitem nós e na outra as peças descartadas. As trincas superficiais só são visíveis após o aplainamento, já as trincas internas são percebidas somente após as peças serem destopadas. As peças de madeira já destopadas, mas que apresentam trinca superficial, ainda podem ser refiladas e aproveitadas para medidas inferiores, porém causando um retrabalho. Desta forma, como se pode perceber, as trincas, tanto superficiais como internas, são os principais defeitos da secagem e, que desclassificam a madeira para este fim, gerando um rendimento reduzido de produto final, merecendo um estudo neste sentido.

#### **4.1.5. Programa de Secagem**

Segundo TOMASELLI & KLINTZE (2002) obtem-se uma secagem artificial quando se faz circular ar quente e seco uniformemente através da grade de madeira. No entanto, o ritmo de secagem e os riscos de ocorrência de defeitos causados à madeira durante o processo, são diferentes, dependendo das características das espécies. Por esta razão, as madeiras requerem variações climáticas e intensidade diferente, gerando a necessidade de programações diferenciadas para cada espécie, espessura e qualidade final desejada. As mudanças de temperatura e umidade relativa dentro da câmara variam com a mudança de teor de umidade médio determinado na carga de madeira.

A umidade relativa e a temperatura são fatores fundamentais, necessários para conduzir adequadamente a secagem. Para uma perfeita condução da secagem da madeira o equipamento deve ser capaz de manter as condições pré-estabelecidas pelo programa, bem como o operador deve possuir conhecimento necessário para intervir no processo sempre que necessário, fazendo as adequações no momento certo.

No equipamento utilizado constatou-se que não há um perfeito isolamento, principalmente nas portas, ocorrendo vazamentos de vapor e ventilação durante o processo. Este fato dificulta sobremaneira uma perfeita condução do processo, pois o equipamento não atinge os valores programados na curva de secagem, além de haver uma troca de ar não programada com o ambiente.

Este secador está automatizado com o sistema Marrari, onde são definidos os parâmetros do programa de secagem. O programa é composto pelas fases de aquecimento, oito fases de secagem propriamente dita, fase de uniformização, condicionamento e resfriamento. Este conjunto de informações que alimenta o CLP para que este tome as medidas nos momentos corretos, abrindo e fechando válvulas de entrada de vapor, abertura e fechamento de damper's, válvulas de banho e etc. Isto, baseado sempre na leitura dos sensores de umidade cravados na madeira e da medição de temperatura do psicrômetro.

Verificou-se ainda que nas fases iniciais, principalmente no aquecimento, esta estufa não atinge a temperatura determinada no programa, da mesma forma, dificultando a condução do processo, modificando as condições de umidade e temperatura desejadas naquele instante.

O programa de secagem utilizado é do tipo tempo temperatura, ou seja, trabalha-se na fase de aquecimento, e nas sete fases de secagem, mais as fases de uniformização, condicionamento e resfriamento por tempos pré-definidos, deixando

somente a fase 2.8 sendo executada em função do teor de umidade da madeira. Neste tipo de programa não é levado em consideração o teor de umidade da carga, mas somente o tempo determinado para cada uma das sub-fases da secagem. Esta prática é adotada na empresa em função de se secar uma mesma espécie de madeira e pela experiência adquirida após longos anos.

Com vistas a elaborar a presente monografia, procedeu-se uma avaliação do programa de secagem utilizado na empresa, para a estufa de número três. Observou-se que o mesmo é do tipo tempo temperatura, ou seja, estabelece-se tempo para cada fase. Em todas as fases com exceção da 2.8 utiliza-se banho, sendo que o sistema MARRARI é que determina o momento do acionamento das válvulas em função do programa. Na fase 2.7 verifica-se que é feito um condicionamento na madeira, ou seja, eleva-se a umidade relativa com o objetivo de diminuir as tensões geradas até aquele instante, pela secagem da superfície da tábua e parte central da mesma ainda úmida. Este programa pode ser observado na FIGURA 7.

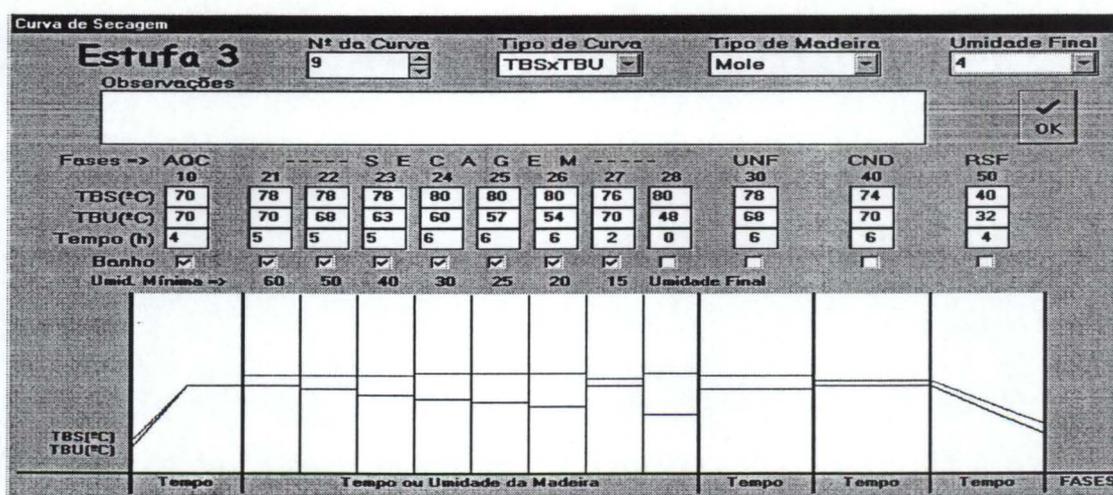


FIGURA 7 – Curva de Secagem adotada na empresa

Após terminar o processo de secagem utilizando-se o programa de secagem da empresa, que durou 72 horas, foram separadas as peças amostra aleatoriamente na carga, em número de 100. Aplainou-se todas as peças e manualmente e, em seguida verificou-se as peças que continham trincas. O resultado encontrado foi o seguinte: das cem peças, 76 apresentavam trincas superficiais. Sendo que destas 76 peças, 48 apresentam apenas uma trinca na superfície com no máximo 25 cm de comprimento, 28 peças apresentam até três trincas em pontos distintos da peça, com comprimento de aproximadamente 18 cm cada.

Estas trincas inviabilizam parte da peça para o produto *clear block's*. De um universo de 100 peças, que totalizam 260 m lineares, 27,12 m lineares apresentavam o defeito, inviabilizando para este uso, porém podendo ser utilizado na indústria na confecção de sarrafos.

Terminada a avaliação dos defeitos, procedeu-se algumas mudanças no programa de secagem utilizado visando diminuir a incidência de trincas durante o processo de secagem. Manteve-se a principio o programa do tipo Tempo X Temperatura. Diminuiu-se a temperatura (TBS) no inicio, inclusive na fase de aquecimento para 70°C, elevando-se gradativamente até chegar a 80°C nas três ultimas fases de secagem. O tempo de aquecimento não foi alterado. Nas fases 2.1 a 2.5, aumentou-se o tempo para 10 horas em cada uma e, nas fases 2.6 e 2.7 alterou-se o tempo para 8 horas. A fase 2.8 permaneceu por umidade, ou seja, a partir do momento que o programa de secagem entrasse nesta fase, permaneceria até que a madeira chegasse na umidade final desejada para a madeira. Estas mudanças podem ser visualizadas na FIGURA 8, onde se mostra o programa de secagem alterado.

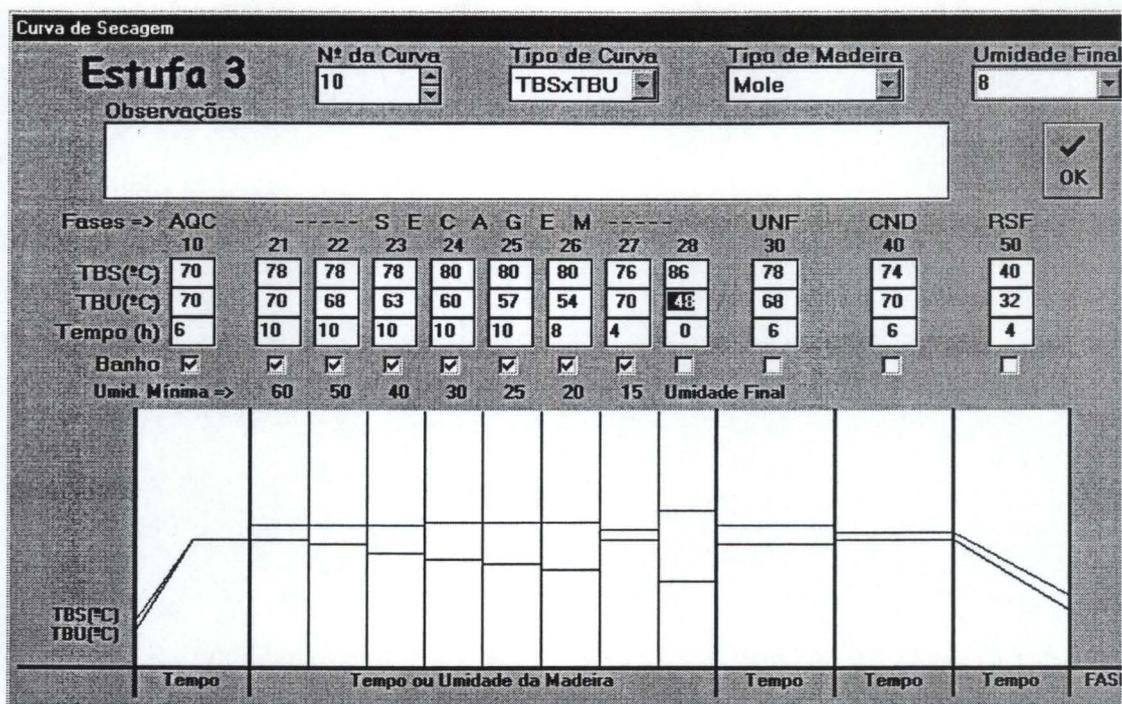


FIGURA 8 – Programa de Secagem Alterado

Após o final da secagem utilizando-se o programa de secagem alterado, que durou 86 horas, foram retiradas outras cem peças aleatoriamente, para proceder a mesma avaliação anterior. As peças foram aplainadas e visualizadas uma a uma, para verificar a ocorrência ou não de rachaduras. A que se salientar que não se consegue preparar uma carga com madeira exatamente igual a outra. O resultado apresentou 41 peças com rachaduras, sendo que destas 17 apresentaram apenas uma rachadura ao longo da peça com comprimento de 5 a 12 cm e, 24 peças apresentaram mais que uma rachadura ao longo da peça com comprimento que variou de 3 a 15 cm totais. Em metros lineares, a perda de madeira com este tipo de defeito foi a seguinte: 5,64 metros lineares apresentavam

rachadura de um universo de 260 metros lineares. Houve um decréscimo no número de defeitos do tipo rachadura.

#### **4.1.6. Avaliação Geral**

A primeira questão a ser levantada diz respeito ao tipo de corte que é efetuado na tora. O corte tangencial apresenta maior tendência para o surgimento deste tipo de defeito e em contrapartida o radial apresenta menor incidência. Assim, a utilização de cortes radiais poderia minimizar ou até eliminar completamente a ocorrência de trincas. Para conseguir esta orientação seria necessário a colocação de uma serra múltipla na saída da serra fita quádrupla. Este procedimento exige investimentos e a mudança do layout, por isso dificilmente será implantando.

Verificou-se que os cabos separadores nas grades nem sempre são padronizados na espessura e largura, e não são colocados perfeitamente alinhados perpendicularmente a tábua, ficando muitas vezes atravessado, desalinhado, dificultando a preparação da carga com perfeição. Fato que dificulta a passagem do ar de forma homogênea pela carga. Como solução para este caso, o treinamento dos funcionários operadores da ponte rolante para uma preparação da carga mais eficiente seria interessante.

O programa de secagem utilizado na empresa prevê temperaturas altas desde o início do processo, acima de 70°C. Segundo GALVÃO & JANKOWSKY (1984) altas temperaturas no início da secagem podem elevar o número de defeitos, principalmente rachaduras, fato confirmado nas análises procedidas. As fases finais de secagem, uniformização, condicionamento e resfriamento não são feitas, devido a necessidade de

madeira seca para o processo de produção, fato este que também pode acarretar o aparecimento de defeitos de secagem.

Assim, com as modificações impostas no programa de secagem obteve-se resultados expressivos, como podemos verificar nas TABELA 5 e TABELA 6, onde se apresenta resultado percentual e em metros lineares comparativos entre os dois programas de secagem.

TABELA - 5 Comparação em percentual da ocorrência de defeitos em função da alteração do Programa de Secagem

DEFEITOS	TESTE 1	TESTE 2	GANHO %
	% EM METROS LINEARES	% EM METROS LINEARES	
UMA TRINCA	4,62%	0,77%	83,33%
MAIS DE UMA TRINCA	5,77%	1,38%	76,00%
LIVRE DE TRINCAS	89,62%	97,85%	8,41%

TABELA - 6 Comparação em metros lineares da ocorrência de defeitos em função da alteração do Programa de Secagem

DEFEITOS	TESTE 1	TESTE 2	GANHO
	METROS LINEARES	METROS LINEARES	%
UMA TRINCA	48	17	64,58
MAIS DE UMA TRINCA	28	24	14,28
LIVRE DE TRINCAS	24	59	59,32

Fonte: Testes realizados pelo autor

Há que se salientar, que o teste um foi realizado com o programa de secagem da empresa e, o teste dois com o programa de secagem alterado, podendo-se notar que em termos de metragem de madeira que apresentou defeitos não foi muito expressivo, porém,

analisando-se em termos percentuais verifica-se a enorme diferença. No teste dois o ganho em termos de metros lineares sem defeitos foi 83,33% superior ao teste um para uma trinca e, 76% para mais de uma trinca. Peças inteiras, ou seja, com 2,60 metros livres de trinca o ganho não foi tão expressivo, representando apenas 8,41%. Haja vista que o produto *clear block's* apresenta-se em tamanhos a partir de 15 cm livres de defeitos, peças inteiras não são confeccionadas, sendo o comprimento máximo de 48 cm, assim, volta-se a dar ênfase aos números percentuais de redução de 83,33 e 76% em metros lineares. Considerando uma produção mensal de aproximadamente 1.000 m<sup>3</sup>, e também que por volta de 5%, isto é, perdido em função do defeito tipo trinca, podemos afirmar que com 14 horas a mais no ciclo de secagem, reduz aproximadamente 40 m<sup>3</sup> de madeira com defeito, o que corresponde a um container a mais em um mês. Considerando também que em um mês normal de 30 dias temos 720 horas, o que corresponde a 10 ciclos de 72 horas. Com o aumento em mais 14 horas diminuiria para 8,3 ciclos, ou seja, praticamente 2 ciclos a menos de madeira seca em um mês, por volta de 220 m<sup>3</sup>.

## 5. CONCLUSÕES

Diante dos levantamentos efetuados, pode-se dizer que embora a empresa seja referência na região, no ramo madeireiro, existem melhorias que podem ser implantadas, com sensível ganho de qualidade no processo de secagem, e redução dos defeitos oriundos do processo. A empresa investe em treinamento, prepara seus funcionários para as tarefas rotineiras, incentiva-os a aprofundarem-se nos temas relacionados a sua área de atuação.

Os equipamentos, estufas, controladores apesar de instalados há vários anos sofrem uma manutenção constante, porém não preventiva e sim corretiva. A exceção é a caldeira que devido a projetos futuros, será desativada brevemente e, portanto já não se encontra nas melhores condições, apresentando vazamentos constantes, o que ocasiona paradas para manutenção e conseqüentemente interrupções nos processos de secagem. Estas interrupções que acontecem praticamente a cada quinze dias interferem significativamente na qualidade da secagem, ocasionando alguns defeitos nas cargas que estão dentro da câmara, naquele momento.

O principal ponto que pode ser atacado é uma melhoria no programa de secagem atualmente utilizado, porém para isso, é necessário aumentar o tempo do processo de secagem, fator determinante para uma secagem praticamente livre de rachaduras. Uma simples modificação no programa de secagem utilizado, onde se aumentou o tempo das fases iniciais, mantendo-se uma umidade relativa mais alta nestas fases, já apresentou melhora, ou seja, diminuição no número de trincas. Esta melhoria consiste basicamente em se preparar um programa de secagem do tipo umidade X temperatura, onde se estabelecem valores para o TBS e TBU e a troca de fase ocorre em função da umidade média da madeira, segundo os pinos sensores cravados na madeira.

Cabe também uma avaliação criteriosa do custo-benefício do aumento do tempo de secagem, haja vista que a empresa tem outros setores que podem ocupar a madeira desclassificada para o produto *clear block's*. Assim, pode-se concluir que as melhorias no programa de secagem são fáceis de implementar, já existe o conhecimento para tal, só que implica num aumento sensível no tempo de secagem e, diminuição de ciclos de secagem durante o mês. Isso acarreta numa diminuição de produção do setor de secagem, ou seja, menos metros cúbicos de madeira seca para a industrialização. Considero que numa indústria do porte desta que está sendo avaliada, esses cálculos são feitos previamente e como o processo absorve as perdas de um setor em outro, agregando valor até mesmo ao resíduo, e enquanto não há número suficiente de secadores que permitam esse aumento do tempo de secagem, deve-se permanecer assim, assumindo os defeitos dentro desse índice.

Segundo informações da empresa para o ano de 2004, está prevista a instalação de mais três secadores de madeira em parceria com a empresa Lages

Bioenergética, o que facilitará sobremaneira a implantação do programa de secagem do tipo umidade X temperatura e, conseqüentemente redução dos defeitos oriundos do processo.

## 6. GLOSSÁRIO

- Anisotropia: Característica que a madeira apresenta de variar o valor de suas propriedades físicas e mecânicas ao longo das direções longitudinal, radial e tangencial;
- Câmara de secagem: Compartimento de uma estufa onde a madeira é colocada para secar;
- Massa específica: É uma relação entre a massa e o volume e, varia com o teor de umidade;
- Massa específica aparente: É a massa específica a um determinado teor de umidade;
- Anisotropia de contração: É a relação entre anisotropia de contração tangencial e contração radial;
- Umidade de equilíbrio (UE ): A madeira atinge uma umidade de equilíbrio quando a pressão interna de vapor for igual a pressão externa de vapor, ou seja entra em equilíbrio com o ambiente;
- Pressão de Vapor ( $\text{Kh}/\text{cm}^2$  ou ATM): É a pressão de moléculas de água em estado gasoso sobre o ambiente;
- Umidade relativa(UR): É calculada pela relação entre a pressão parcial de vapor de  $\text{H}_2\text{O}$  pela pressão de vapor saturado;
- Pressão parcial de vapor: É a quantidade de vapor d'água presente e que pode variar a uma dada temperatura, num determinado ambiente;

- Pressão saturada de vapor: É a quantidade máxima de vapor d'água que o ar terá condições de suportar numa dada temperatura até atingir sua completa saturação;

- Psicrômetro: Aparelho para determinar a umidade relativa na câmara de secagem a altas temperaturas. Compõe-se de dois termômetros idênticos chamados TBS, termômetro de bulbo seco e TBU, termômetro de bulbo úmido;

- Gradiente de umidade: É a diferença entre a umidade em % da superfície da peça com a umidade em % do centro da mesma;

- Teste do garfo: É o teste de verificação da ocorrência e intensidade do endurecimento superficial, realizado em amostra obtida de peça de madeira, após a secagem. Tem a finalidade de determinar a necessidade de condicionamento ou de verificar se a sua duração foi suficiente para aliviar as tensões internas da madeira;

- Termômetro de bulbo seco (TBS): Termômetro utilizado para medir a temperatura do ar;

- Termômetro de bulbo úmido (TBU): Termômetro cujo elemento sensível é coberto com um tecido macio, limpo, poroso e saturado em água, destinado a medir a evaporação de água no ambiente.

- Ponto de saturação das fibras: Estado da madeira no qual a água livre foi eliminada, enquanto que as paredes celulares permanecem saturadas, correspondendo a um teor de umidade da madeira entre 28 e 30%, aproximadamente.

- Programa de secagem: Sequência de temperatura e umidades relativas pré-determinadas ou reais, aplicadas na secagem artificial.

## 7. REFERÊNCIA BIBLIOGRAFICA

GALVÃO, A. P. M. & JANKOWSKY, I. P. **Secagem Racional da Madeira**, São Paulo: Nobel, 1985.

BURGER, L. M. & RICHTER, H. G., **Anatomia da Madeira**, São Paulo: Nobel, 1991.

MENDES, A. S. & VARLONE, A. M. & MARQUES, M. H. B. **Programas de Secagem para Madeiras Brasileiras**, São Paulo: Ibama, 1999.

SEVERO, E. T. D. **Efeito da Temperatura e da Velocidade do Ar na Secagem de Madeiras Serrada de *Pinuss elliottii***, Dissertação ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Curitiba: UFPR, 1989.

FRANZOI, L. C. N., **A Secagem da Madeira em Estufa**, Bento Gonçalves: Senai/Cetemo, 1997.

STCP, **Secagem de Madeiras Serradas**, Curitiba: STCP, 1990.

TOMASELLI, I. & KLINTZE, R. J., **Secagem de Madeira**, Lages: UFPR, 2002.